

机械类“3+4”贯通培养规划教材

机械工程材料基础

安美莉 主编

非外借



科学出版社

机械类“3+4”贯通培养规划教材

机械工程材料基础

主 编 安美莉

副主编 贺军鹏 张 燕

科学出版社

内 容 简 介

本书是机械类“3+4”贯通培养的学生在中等职业学校阶段学习的专业课之一，主要内容包括金属材料及其来源、金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、碳素钢、钢的热处理、低合金钢和合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料。各章后面附有本章小结和思考与练习。为了拓展“3+4”学生的知识面，为大学阶段专业课的学习打下良好的基础，各章增加了拓展阅读环节。

本书适用于中等职业学校机械相关专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料基础/安美莉主编. —北京: 科学出版社, 2018.10

机械类“3+4”贯通培养规划教材

ISBN 978-7-03-058941-5

I. ①机… II. ①安… III. ①机械制造材料—中等专业学校—教材
IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 219263 号

责任编辑: 邓 静 张丽花 陈 琮 / 责任校对: 王萌萌

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 10 月第一次印刷 印张: 10

字数: 252 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



机械类“3+4”贯通培养规划教材

编 委 会

主 任：李长河

副主任：赵玉刚 刘贵杰 许崇海 曹树坤

韩加增 韩宝坤 郭建章

委 员：(按姓名拼音排序)

安美莉 陈成军 崔金磊 高婷婷

贾东洲 江京亮 栗心明 刘晓玲

彭子龙 滕美茹 王 进 王海涛

王廷和 王玉玲 闫正花 杨 勇

杨发展 杨建军 杨月英 张翠香

张效伟

前 言

为了适应中等职业教育教学改革和发展的需要，编者在认真学习并总结各类职业学校同类教材编写经验的基础上，根据“3+4”贯通分段培养教学大纲的要求，编写了本书。

本书贯彻了以提高学生全面素质为主要目的，以培养学生的能力为教学指导思想，注重学生在理论知识、技能方面的培养；内容以强化能力、扩大知识面为原则，为学生学习其他专业课程、增强职业应变能力打下基础。本书突出了职业学校的教育特色，较多地配置了图片、实物照片，增强了相关知识点的直观性；注重吸取相关教材的优点，增加了新知识、新工艺、新技术、新标准；名词术语、材料的分类与牌号及其他相关的标准均采用最新的国家标准。本书每章配有拓展阅读、本章小结、思考与练习等相关环节，以达到学生对相关知识的巩固和提高的目的。

本书参考学时为 64 学时，各章的参考学时见下面的学时分配表。

学时分配表

课程内容	学时分配
第 1 章 金属材料及其来源	2
第 2 章 金属材料的性能	4
第 3 章 金属的晶体结构与结晶	2
第 4 章 铁碳合金相图	8
第 5 章 碳素钢	6
第 6 章 钢的热处理	10
第 7 章 低合金钢和合金钢	18
第 8 章 铸铁	8
第 9 章 有色金属及其合金	4
*第 10 章 非金属材料	2
合计	64

*选学内容。

本书由安美莉任主编，贺军鹏、张燕任副主编。本书编写过程中参阅了部分同类书籍，在此向有关的编者表示感谢！

由于编写水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 5 月

目 录

绪论	1
0.1 金属材料与热处理的发展史	1
0.2 本课程的性质、任务	2
第 1 章 金属材料及其来源	3
1.1 金属材料及其分类	3
1.1.1 金属材料	3
1.1.2 金属材料的分类	3
1.2 金属材料的来源	5
1.2.1 炼铁	5
1.2.2 炼钢	7
拓展阅读	8
本章小结	10
思考与练习	10
第 2 章 金属材料的性能	11
2.1 金属材料的力学性能	11
2.1.1 强度	12
2.1.2 塑性	15
2.1.3 硬度	16
2.1.4 韧性	21
2.1.5 疲劳强度	23
2.2 金属材料的工艺性能	25
2.2.1 铸造性能	25
2.2.2 压力加工性能	26
2.2.3 焊接性能	26
2.2.4 切削加工性能	27
拓展阅读	27
本章小结	28
思考与练习	28
第 3 章 金属的晶体结构与结晶	30
3.1 金属的晶体结构	30
3.1.1 晶体与非晶体	30
3.1.2 金属的晶体结构	30

3.1.3 金属晶格的常见类型	31
3.2 金属的同素异构转变	32
3.3 合金的基本组织	33
3.3.1 合金概述	33
3.3.2 合金的组织	33
拓展阅读	35
本章小结	37
思考与练习	37
第4章 铁碳合金相图	38
4.1 铁碳合金的基本组织	38
4.2 铁碳合金相图分析	41
4.2.1 铁碳合金相图的形成	41
4.2.2 铁碳合金的分类	43
4.2.3 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响	43
4.3 铁碳合金相图的应用	45
4.3.1 在选材方面的应用	45
4.3.2 在热加工方面的应用	45
拓展阅读	46
本章小结	50
思考与练习	50
第5章 碳素钢	52
5.1 长存杂质元素对碳素钢性能的影响	52
5.1.1 硅	52
5.1.2 锰	52
5.1.3 硫	52
5.1.4 磷	53
5.1.5 非金属夹杂物	53
5.2 碳素钢的分类	53
5.3 碳素钢的牌号、性能及用途	54
5.3.1 碳素结构钢	54
5.3.2 优质碳素结构钢	55
5.3.3 碳素工具钢	56
5.3.4 铸造碳钢	57
5.3.5 易切削结构钢	58
拓展阅读	58
本章小结	60
思考与练习	60

第 6 章 钢的热处理	61
6.1 钢的退火与正火	61
6.1.1 退火	61
6.1.2 正火	64
6.2 钢的淬火	64
6.2.1 淬火工艺	64
6.2.2 钢的淬透性与淬硬性	68
6.2.3 淬火缺陷	69
6.3 钢的回火	70
6.3.1 钢在回火时组织和性能的变化	70
6.3.2 回火方法	71
6.3.3 回火脆性	72
6.4 钢的表面热处理	72
6.4.1 表面淬火	73
6.4.2 钢的化学热处理	75
6.5 时效处理	77
6.6 零件的热处理分析	79
6.6.1 热处理的技术条件	79
6.6.2 热处理的工序位置	79
6.6.3 典型零件热处理分析	80
拓展阅读	82
本章小结	83
思考与练习	84
第 7 章 低合金钢和合金钢	85
7.1 低合金钢	85
7.1.1 合金元素对钢的影响	85
7.1.2 低合金钢的类别、性能及用途	86
7.2 合金钢的分类和牌号	88
7.2.1 合金钢的分类	88
7.2.2 合金钢的牌号	88
7.3 合金结构钢	90
7.3.1 合金渗碳钢	90
7.3.2 合金调质钢	91
7.3.3 合金弹簧钢	93
7.3.4 滚动轴承钢	93
7.3.5 高锰耐磨钢	95
7.4 合金工具钢	96
7.4.1 合金刀具钢	96

7.4.2 合金模具钢	99
7.4.3 合金量具钢	101
7.5 特殊性能钢	102
7.5.1 不锈钢	102
7.5.2 耐热钢	103
拓展阅读	104
本章小结	107
思考与练习	108
第8章 铸铁	110
8.1 铸铁的基础知识	110
8.1.1 铸铁的分类	110
8.1.2 铸铁中石墨的产生及其影响因素	110
8.2 灰铸铁	111
8.2.1 灰铸铁的化学成分、显微组织与性能	111
8.2.2 灰铸铁的孕育处理	112
8.2.3 灰铸铁的牌号、力学性能及用途	112
8.2.4 灰铸铁的热处理	113
8.3 球墨铸铁	113
8.3.1 球墨铸铁的化学成分、显微组织与性能	113
8.3.2 球墨铸铁的牌号、力学性能及用途	113
8.3.3 球墨铸铁的热处理	115
8.4 其他铸铁简介	115
8.4.1 可锻铸铁	115
8.4.2 蠕墨铸铁	116
拓展阅读	117
本章小结	118
思考与练习	119
第9章 有色金属及其合金	120
9.1 铝及铝合金	120
9.1.1 纯铝	120
9.1.2 铝合金	121
9.2 铜及铜合金	123
9.2.1 纯铜	123
9.2.2 铜合金	124
9.3 钛及钛合金	129
9.3.1 纯钛	129
9.3.2 钛合金	129

9.4 轴承合金	130
9.4.1 轴承合金的性能和组织特点	130
9.4.2 常用轴承合金	131
9.5 硬质合金	132
9.5.1 硬质合金的性能特点	132
9.5.2 常用硬质合金	132
拓展阅读	133
本章小结	136
思考与练习	137
*第 10 章 非金属材料	138
10.1 高分子材料	138
10.1.1 塑料	138
10.1.2 橡胶	140
10.2 陶瓷材料	141
10.2.1 陶瓷的分类与性能	141
10.2.2 常用工业陶瓷	142
10.3 复合材料	142
10.3.1 复合材料的分类与性能	142
10.3.2 常用复合材料	143
拓展阅读	144
本章小结	144
思考与练习	145
参考文献	146

绪 论

0.1 金属材料与热处理的发展史

人类社会的发展历程，是以材料为主要标志的。历史上，材料被视为人类社会进化的里程碑。对材料认识和利用的能力，决定着社会形态和人类生活的质量。100 万年以前，原始人以石头作为工具，称为旧石器时代。1 万年以前，人类对石器进行加工，使之成为器皿和精致的工具，从而进入新石器时代。现在考古发掘证明我国在八千多年前已经制成实用的陶器，在六千多年前已经冶炼出黄铜，在四千多年前已有简单的青铜工具，在三千多年前已用陨铁制造兵器。18 世纪的工业革命使人类使用材料的历史产生了重大突破，人类掌握了炼钢的方法。钢铁时代的到来和蒸汽机的发明，使人类的生产力有了空前的发展，人们不再简单地使用工具，而开始使用真正意义的机器，这标志着工业时代的来临。20 世纪中叶以后，科学技术迅猛发展，新材料又出现了划时代的变化。首先是人工合成高分子材料问世，并得到广泛应用。仅半个世纪，高分子材料已与有上千年历史的金属材料并驾齐驱，它的年体积产量超过了钢，成为国民经济、国防尖端科学和高科技领域不可缺少的材料。其次是陶瓷材料的发展。陶瓷是人类最早利用自然界所提供的原料制造而成的材料。合成化工原料和特殊制备工艺的发展，使陶瓷材料产生了一个飞跃，许多新型功能陶瓷形成了产业，满足了电力、电子技术和航天技术的发展与需要。现在人们也按化学成分将材料划分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类以及它们的复合材料。金属基复合材料 (Metal Matrix Composit, MMC) 因其良好的性能而得到了人们广泛的关注。它是一类以金属或合金为基体，以金属或非金属线、丝、纤维、晶须或颗粒状组分为增强相的非均质混合物，其共同点是具有连续的金属基体。目前，特别是航空航天部门推进系统使用的材料，其性能已经达到了极限。因此，研制工作温度更高、比刚度和比强度大幅度增加的金属基复合材料，已经成为发展高性能结构材料的一个重要方向。

从石器时代进入铜器时代和铁器时代的过程中，热处理的作用逐渐为人们所认识。早在公元前 770~公元前 222 年，中国人在生产实践中就已发现，铜铁的性能会因温度和加压变形的影响而变化。白口铸铁的柔化处理就是制造农具的重要工艺。公元前 6 世纪，钢铁兵器逐渐采用，为了提高钢的硬度，淬火工艺得到迅速发展。中国河北省易县燕下都出土的两把剑和一把戟，其显微组织中都有马氏体存在，说明是经过淬火的。随着淬火技术的发展，人们逐渐发现淬冷剂对淬火质量的影响。三国蜀人蒲元曾在陕西斜谷为诸葛亮打制 3000 把刀，相传是其派人到成都取水淬火的。这说明中国古代就注意到了不同水质的冷却能力。我国西汉 (公元前 202~公元 8 年) 中山靖王墓中出土的宝剑，心部含碳量为 0.15%~0.4%，而表面含碳量却达 0.6% 以上，说明已应用了渗碳工艺。但当时作为个人“手艺”的秘密，不肯外传，因而发展很慢。1863 年，英国金相学家和地质学家展示了钢铁在显微镜下的六种金相组织，证明了钢在加热和冷却时，内部会发生组织改变，钢中高温时的相在急冷时转变为一种较硬的相。法国人奥斯蒙德确立的铁的同素异构理论，以及英国人奥斯汀最早制定的铁碳相图，

为现代热处理工艺初步奠定了理论基础。20 世纪以来,金属物理学的发展和其他新技术的移植应用,使金属热处理工艺得到更大发展,激光、电子束技术的应用,又使金属获得了新的表面热处理和化学热处理方法。

0.2 本课程的性质、任务

本课程是一门从生产实践中发展起来的,又直接为生产服务的机械专业的专业技术基础课。通过本课程的学习,学生初步掌握热处理基本原理及其工艺,以及常用金属材料的牌号、性能和用途,为正确选择和合理使用材料建立必要的基础。

通过本课程的学习,学生应达到下列基本要求:

- (1) 掌握金属材料的力学性能,了解金属材料的工艺性能;
- (2) 了解铁碳合金及其相图的基本理论,为进一步学习热处理和金属材料知识打下基础;
- (3) 掌握常用金属材料的牌号、性能、用途,初步具有合理选择常用金属材料的能力;
- (4) 掌握金属材料常用热处理的概念、目的,了解热处理在零件加工过程中的作用,能根据零件的技术条件选用合理的热处理方法,初步具有合理安排零件的加工路线的能力;
- (5) 了解与本课程相关的新材料、新技术、新方法。

第 1 章 金属材料及其来源

1.1 金属材料及其分类

1.1.1 金属材料

金属是指具有特殊光泽,有良好的导电性、导热性,有一定的强度和塑性的物质,如金(Au)、银(Ag)、铜(Cu)、铁(Fe)、铝(Al)、锰(Mn)、锌(Zn)等。

金属材料是指由金属元素或以金属元素为主、其他金属或非金属元素为辅构成的,具有金属特性的材料的统称,包括纯金属和合金。

纯金属是指不含其他杂质或其他金属成分的金属。纯金属的力学性能不高,实际上,工程中使用的金属材料都是合金,例如,工业上常用的生铁和钢就是铁碳合金。

金属材料,尤其是钢铁材料在国民经济及其他方面都有重要作用,这是由于它具有比其他材料优越的性能,如物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能。

1.1.2 金属材料的分类

金属材料最常见的分类是按照其最高价氧化物的颜色分为三大类,即黑色金属材料(黑色金属)、有色金属材料(有色金属)和特种金属材料(特种金属)。

1. 黑色金属

黑色金属又称为钢铁材料,广义的黑色金属还包括锰、铬(Cr)以及它们的合金。黑色金属的命名来源于钢铁表面常常被一层黑色的 Fe_3O_4 膜覆盖,而锰和铬常用来与铁制成合金钢,故将锰、铬、铁一起统称为黑色金属,如生铁、钢、铁碳合金等。

1) 生铁

生铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金,工业生铁含碳量一般为 2.5%~4%,并含 C、Si、Mn、S、P 等元素,是用铁矿石经高炉冶炼的产品。生铁是高炉产品,按其用途可分为炼钢生铁和铸造生铁两大类。习惯上把炼钢生铁称为生铁,把铸造生铁称为铸铁。炼钢生铁里的碳主要以渗碳体的形态存在,其断面呈白色,通常又称白口铁。这种生铁性能坚硬而脆,一般都作为炼钢的原料。铸造生铁中的碳以石墨形态存在,它的断口为灰色,通常又称灰口铁,加工性能好,可用于生产各种铸铁。

2) 钢

钢是含碳量为 0.0218%~2.11% 的铁碳合金。通常将其与铁合称为钢铁,为了保证其韧性和塑性,含碳量一般不超过 1.4%。钢的主要元素除铁、碳外,还有硅、锰、硫、磷等。钢以其低廉的价格、可靠的性能成为世界上使用最多的材料之一,是建筑业、制造业和人们日常生活中不可或缺的成分,可以说钢是现代社会的物质基础。

2. 有色金属

狭义的非铁金属又称非铁金属,是铁、锰、铬以外的所有金属的统称。广义的非铁金属还包括有色合金。有色合金是以一种有色金属为基体(通常含量大于 50%),加入一种或几种

其他元素而构成的合金。有色金属通常指除铁(有时也除锰和铬)和铁基合金以外的所有金属,通常又将其分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等。有色金属中除金为黄色、铜为赤红色以外,多数呈银白色。有色合金的强度和硬度一般比纯金属高,并且电阻大、电阻温度系数小。

1) 重金属

重金属一般是指 $\rho > 4.5\text{g/cm}^3$ 的有色金属,包括元素周期表中的大多数过渡元素,如铜、锌、铅(Pb)等。重金属主要用作各种用途的镀层及多元合金。

2) 轻金属

轻金属一般是指 $\rho < 4.5\text{g/cm}^3$ 的有色金属,如铝、镁(Mg)、钙(Ca)、钾(K)、钠(Na)等。工业上常采用电化学或化学方法对 Al、Mg 及其合金进行加工处理,以获得各种优异的性能。

3) 贵金属

贵金属在地壳中含量少、提取困难、价格较高、密度大、化学性质稳定,如金、银、铂(Pt)等。工业上常采用电镀方法在价格低廉的基体上获得贵金属的薄镀层,以满足高稳定性、电接触性能以及贵重装饰品的需求。

4) 稀有金属

一般是指在自然界中含量较少、分布稀疏、研究应用较少的有色金属。稀有金属包括稀土金属、放射性稀有金属、稀有贵金属、稀有轻金属、难熔稀有金属及稀有分散金属等。

3. 特种金属

特种金属包括不同用途的结构金属和功能金属,其中有通过快速冷凝工艺获得的非晶态金属材料,以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等;还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金,以及金属基复合材料等。

机械行业中,常用的金属材料分类如图 1.1 所示。

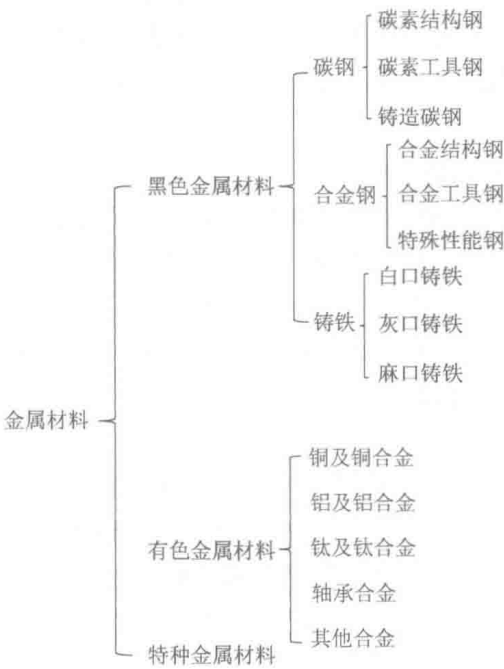


图 1.1 金属材料的分类

1.2 金属材料的来源

金属材料一般从矿石中提取。钢铁材料具有比其他金属材料更为优越的综合性能，在机械制造行业中应用最为广泛，以钢铁材料为例介绍金属材料生产过程。

钢铁材料是铁和碳的合金。钢铁材料按含碳量进行分类，通常含碳量小于 2.11% 的钢铁材料称为钢，含碳量大于 2.11% 的钢铁材料称为白口铸铁或生铁。

生铁是由铁矿石经高炉冶炼而获得的，它是炼钢和铸件生产的主要原材料。

钢材生产以生铁为主要原料，首先将生铁装入高温的炼钢炉里，通过氧化作用降低生铁中碳和杂质的质量分数，获得所需要的钢液，然后将钢液浇注成钢锭或连铸坯，再经过热轧或冷轧后，制成各种类型的型钢。图 1.2 为钢铁材料生产过程示意图。

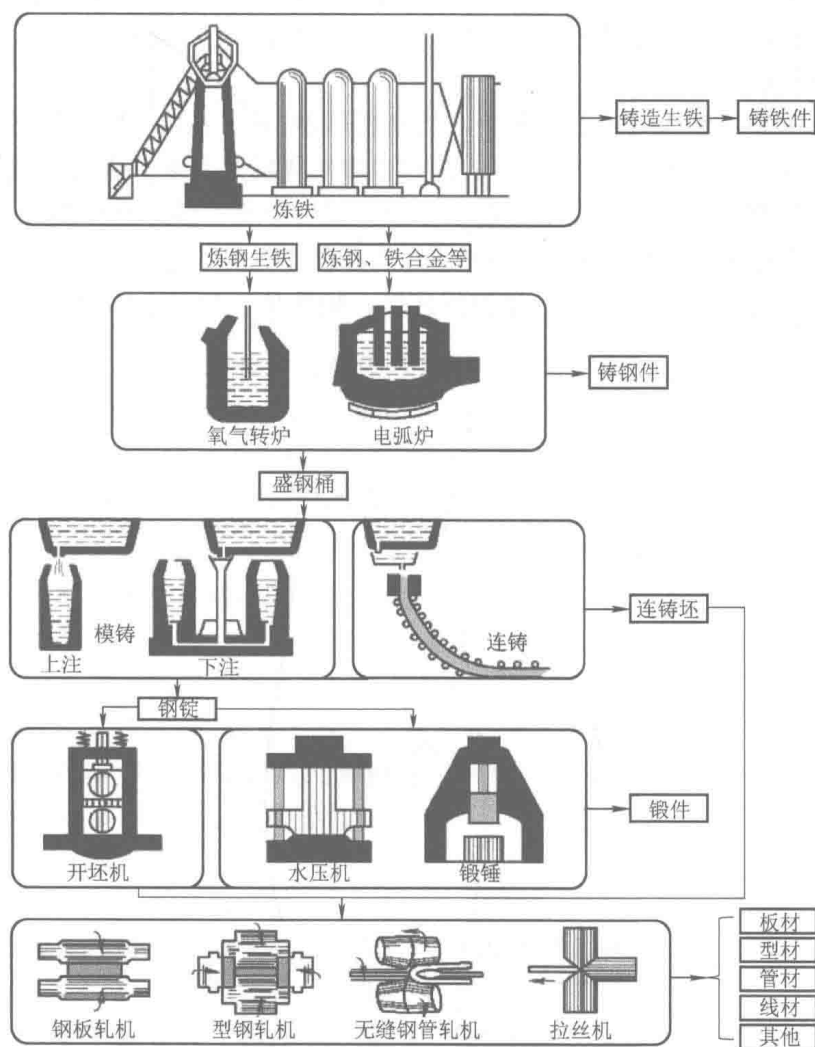


图 1.2 钢铁材料生产过程示意图

1.2.1 炼铁

炼铁用的原料主要是含铁的氧化物。炼铁的实质就是从铁矿石中提取铁及有用元素并形成生铁的过程。现代炼铁的主要方法是高炉炼铁。

1. 炼铁的原料

高炉炼铁的炉料主要是铁矿石、燃料(焦炭)和熔剂(石灰石)。

1) 铁矿石

含铁比较多且有冶炼价值的矿物有赤铁矿石、磁铁矿石、菱铁矿石、褐铁矿石等。铁矿石中除含有铁的氧化物以外,还含有硅、锰、硫、磷等元素的氧化物杂质,这些杂质称为脉石。

2) 焦炭

焦炭作为炼铁的燃料,一方面为炼铁提供热量,另一方面焦炭在不完全燃烧时所产生的CO,又作为使氧化铁和其他金属元素还原的还原剂。

3) 熔剂

熔剂的作用是使铁矿石中的脉石和焦炭燃烧后的灰分转变成密度小、熔点低和流动性好的炉渣(漂浮在钢液表面),并使之与铁液分离。常用的熔剂是石灰石(CaCO_3)。

2. 炼铁的过程

高炉生产时从炉顶装入铁矿石、焦炭、造渣用熔剂(石灰石),从炉子下部沿炉周的风口吹入经预热的空气。在高温下,焦炭(有的高炉也喷吹煤粉、重油、天然气等辅助燃料)中的碳同空气中的氧气燃烧生成一氧化碳,在炉内上升过程中除去铁矿石中的氧,从而还原得到铁。炼出的铁水从出铁口放出。铁矿石中不还原的杂质和石灰石等生成炉渣,从出渣口排出。产生的煤气从炉顶导出,经除尘后,作为热风炉、加热炉、焦炉、锅炉等的燃料。图 1.3 为炼铁高炉示意图。

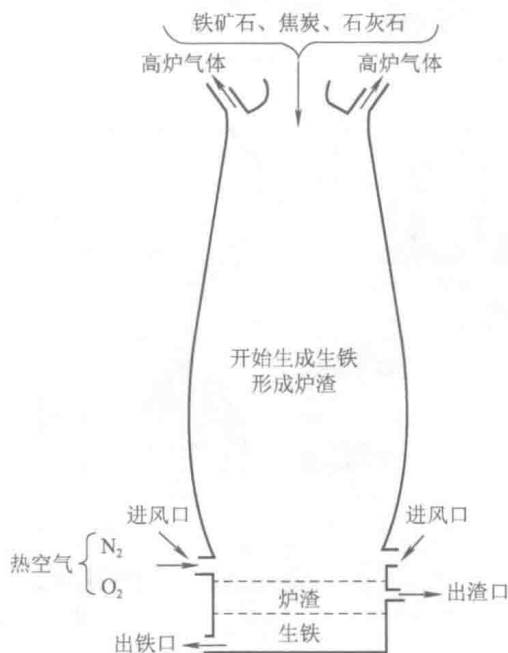


图 1.3 炼铁高炉示意图

3. 高炉产品

高炉冶炼出的铁不是纯铁,其中含有碳、硅、锰、硫、磷等杂质元素,这种铁称为生铁。生铁是高炉冶炼的主要产品。根据用户的不同需要,生铁可分为两类:铸造生铁和炼钢生铁。

铸造生铁的断口呈暗灰色，硅的质量分数较高，主要用于生产复杂形状的铸件。炼钢生铁的断口呈亮白色，硅的质量分数较低($w_{\text{Si}} < 1.5\%$)，用来炼钢。

高炉炼铁产生的副产品主要是炉气和炉渣。高炉排出的炉气中含有大量的一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)和氢气(H_2)等可燃性气体，具有较高的经济价值，可以回收利用。高炉炉渣的主要成分是氧化钙(CaO)和二氧化硅(SiO_2)，它们可以回收利用，用于制造水泥、渣棉和渣砖等建筑材料。

1.2.2 炼钢

生铁虽然用途较广，但由于其脆性较大，使用时有一定的局限性。因此应用较为广泛的是钢。

炼钢以生铁(铁液或生铁锭)和废钢为主要原料，此外，还需要加入熔剂(石灰石、萤石)、氧化剂(O_2 、铁矿石)和脱氧剂(铝、硅铁、锰铁)等。炼钢的主要任务是把生铁熔化成液体，或直接将高炉铁液注入高温炼钢炉中，利用氧化作用将碳及其他杂质元素减少到规定的化学成分范围之内，以获得需要的钢材。因此，用生铁炼钢实质上是一个氧化过程。

1. 炼钢方法

现代炼钢方法主要有氧气转炉炼钢法和电弧炉炼钢法。目前，氧气转炉炼钢是冶炼普通钢的主要手段；电弧炉炼钢主要用于冶炼高质量合金钢种。

2. 钢的脱氧

钢液中的过剩氧气与铁生成氧化物，对钢的力学性能会产生不良的影响，因此，必须在浇注前对钢液进行脱氧处理。按钢液脱氧程度的不同，钢可分为镇静钢(Z)、沸腾钢(F)、半镇静钢(b)、特殊镇静钢(TZ)四种。

1) 镇静钢

镇静钢指脱氧完全的钢。钢液冶炼后期用锰铁、硅铁和铝块进行充分脱氧，钢液在钢锭模内平静地凝固。这类钢锭的化学成分均匀、内部组织致密、质量较高。但由于钢锭头部形成较深的缩孔，轧制时需要切除，因此，钢材浪费较多。

2) 沸腾钢

沸腾钢指脱氧不完全的钢。钢液在冶炼后期仅用锰铁进行不充分的脱氧。钢液浇入钢锭模后，钢液中的氧化铁(FeO)和碳相互作用，脱氧过程仍在进行($\text{FeO} + \text{C} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$)，生成的CO气体引起钢液沸腾现象，故称沸腾钢。钢液凝固时大部分气体逸出，少量气体封闭在钢锭内部，形成许多小气泡。这类钢锭缩孔较小，切头浪费少。但是，钢的化学成分不均匀，组织不够致密，质量较差。

3) 半镇静钢

半镇静钢的脱氧程度和性能状况介于镇静钢与沸腾钢之间。

4) 特殊镇静钢

特殊镇静钢的脱氧质量优于镇静钢，其内部材质均匀，非金属夹杂物含量少，能满足特殊需要。

3. 钢的浇注

钢液经脱氧后，除少数用来浇注成铸钢件外，其余都浇注成钢锭或连铸坯。钢锭用于轧钢或锻造大型锻件的毛坯。连铸坯由于生产率高、钢坯质量好、节约能源、生产成本低，得到广泛采用。